

## Розрахунок і побудова номограм подачі та відбору фарби у системі з двома накочувальними валиками

Василь Рибак

Українська академія друкарства, вул. Підвальна, 17, Львів, 79005, e-mail: rufo@ua.fm

*Розглядається задача розрахунку та побудови номограм подачі та відбору фарби у фарбових системах за змінного навантаження. Побудовано граф фарбової системи послідовно-паралельної структури. За будовою графа складено математичну модель процесу розкочування фарби. Наведено приклад комп'ютерного симулювання та побудовано сімейство номограм для різних коефіцієнтів відбору фарби на вході. Зроблено висновки про значний вплив коефіцієнта заповнення форми на передачу фарби в фарбовій системі.*

**Ключові слова:** друк, фарба, друкарська машина, фарбовий апарат, математичне моделювання, статичні моделі, процеси розкочування фарби.

**Вступ:** Друкарська машина складається з двох основних частин: друкарського та фарбового апаратів. Від їх схеми, конструкції, якості виготовлення, монтажу й експлуатації значною мірою залежить швидкість друкування та якість відбитків. У працях із поліграфії [1-3] основна увага надається будові, аналізу та розрахунку друкарського апарата та інших вузлів машини. Натомість фарбовим апаратам приділено значно менше уваги. Переважають експериментальні дослідження друкарського процесу, які використовуються на стадії проектування, виготовлення й експлуатації друкарських машин. Для визначення технологічного процесу друкування опрацьовано різні рівноцінні визначення та терміни [7, 3, 11]. Відзначимо, що з цих визначень сутність друку зводиться до одержання зображень (відбитків) шляхом перенесення фарби з друкарської форми на матеріал, що задруковується. Фарбовий апарат формує тонкий рівномірний шар фарби та накочує його на друкуючі елементи форми. Рівномірність товщини шару фарби на відбитках значною мірою залежить від структури фарбової системи та її властивостей.

В останні роки вдосконалено фарбові апарати офсетних друкарських машин. Зокрема, вдосконалено дукторно-ножовий вузол і комп'ютеризовано зональне налагодження на заданий наклад та автоматичне керування оптичною щільністю відбитків [13]. Розроблено нові прецизійні регулюючі механізми та виконавчі двигуни для прецизійного переміщення ножа, що значно підвищує точність позиціонування щілини між пластиною ножа та дукторним циліндром і формування тонкого шару фарби на дукторному циліндрі. Збільшено кут його повороту та ширину смужки фарби, яка передається на передавальний валик [9, 13]. Ці вдосконалення підвищили точність попереднього зонального налагодження фарбового

апарата на заданий наклад і зменшили нерівномірність товщини шару фарби на поверхні відбитку, обумовлену дискретною подачею фарби.

Зауважимо, що під час аналізу перенесення фарби з форми на декель, а з нього на матеріал, що задруковується, не враховують зворотні потоки фарби, які зумовлені наявністю пробільних елементів і неповною передачею фарби з декеля на матеріал, що задруковується. Тому актуальною є проблема врахування зворотних потоків фарби й аналізу їх впливу на статичні характеристики фарбової системи.

## 1. Аналіз останніх досліджень

Основними напрямками розвитку фарбових апаратів офсетних друкарських машин було вдосконалення дукторно-ножового вузла [7, 11]. Зональні прорізи друкарського ножа та регулюючі органи у вигляді так званих перстенів фірми Heidelberg і фірми Man Roland дозволили формувати тонкий шар фарби на дукторному валі та підвищили точність позиціонування щілини між ножом і дуктором. Це дозволило збільшити кут повороту дукторного циліндра, та, відповідно, довжину смужки фарби, яка передається на передавальний валик. Також ці зміни зменшили нерівномірність шару фарби на відбитках, обумовлену її дискретною подачею [9, 13].

Зауважимо, що в доступних джерелах немає аналізу суті зменшення нерівномірності шару фарби на поверхні відбитку під час зміни накладу, яка обумовлена вдосконаленнями фарбового апарата.

У працях [3-5] та інших розвинуто теорію моделювання й аналізу фарбових систем різної структури. Основну увагу приділено моделюванню динаміки подачі, розкочування і накочування шару фарби на форму та її подачі на матеріал, що задруковується.

Важливою характеристикою фарбової системи, як об'єкта регулювання, є здатність до саморегулювання товщини шару фарби на відбитках за зміни навантаження. Це явище відбувається за зміни накладу. З теорії автоматичного керування відомо, що здатність об'єкта до саморегулювання можна визначити на основі статичної навантажувальної характеристики. Статичні характеристики можна побудувати, виходячи із рівняння балансу фарбової системи, яке відоме ще під назвою рівняння балансу подачі та розходу фарби [2, 7, 10].

Для складання цього рівняння потрібно знати кількість фарби, що подається у фарбову систему. Ця кількість є невідома, оскільки передавальний валик подає фарбу з дукторного вала на вхід фарбової системи й одночасно деяка частина фарби повертається назад у корито для фарби.

У працях [7, 10] рівняння балансу записується тільки для окремих зон контакту. Наприклад: друкарська форма — офсетний циліндр та офсетний циліндр — папір. Такий баланс є локальний і не враховує відбору фарби на вході фарбової системи. У статті розглядається задача опрацювання статичної моделі фарбової системи та побудови номограм подачі та відбору фарби з урахуванням прямих і зворотних потоків фарби на вході та виході фарбової системи. Тут також розглядається модель фарбової системи за зміни навантаження, аналіз її статичних властивостей і здатність до саморегулювання.

## 2. Побудова математичної моделі

Фарбова система є складний об'єкт. Її складено з множини еластичних валиків і металевих циліндрів, які чергуються. Вони утворюють структуру, яка може мати в кінці до чотирьох накочувальних валиків.

Враховуючи складність поставленої задачі, на цьому етапі дослідження не акцентуватимемо на певній схемі фарбового апарата та фарбо-живильного пристрою. Для викладення запропонованого підходу до побудови номограм подачі та відбору фарби розглянемо приклад фарбової системи послідовної структури з двома накочувальними валиками, схему якої подано на рис. 1.

Неперервний рівномірний шар фарби подається на приймальний (перший) валик і послідовно розкочується наступним валиком ( $n - 2$ ) та накатними валиками ( $n$  і  $n - 1$ ), накочується на форму, переноситься на офсетний циліндр (декель) і передається на матеріал, що задруковується.

Фарбову систему офсетної друкарської машини можна розглядати як об'єкт регулювання, який має вхід і вихід. На вхід фарбової системи подається шар фарби, який набуває відповідних властивостей, і передається на матеріал, що задруковується. Частина фарби, яка не сприйнялася пробільними елементами друкарської форми та не передалася на матеріал, що задруковується, створює зворотний потік фарби, який повертається назад у корито для фарби.

Для складання балансу подачі та витрати фарби і побудови математичної моделі фарбової системи робимо такі припущення:

- на перший валик фарбової системи накочується суцільний рівномірний шар фарби;
- з останнього фарбового валика (офсетного циліндра) фарба подається на матеріал, що задруковується (витрата фарби на виході фарбової системи);
- частина фарби, що не сприйнялася пробільними елементами друкарської форми та не передалася на матеріал, що задруковується, створює зворотний потік фарби, який подається назад у корито для фарби (відбір фарби на вході фарбової системи);
- друкувальні елементи рівномірно розподілені по всій поверхні форми;
- розглядаємо усталений режим роботи фарбової системи.

На основі прийнятих припущень складемо рівняння балансу подачі та витрати фарби у фарбовій системі за одиницю часу

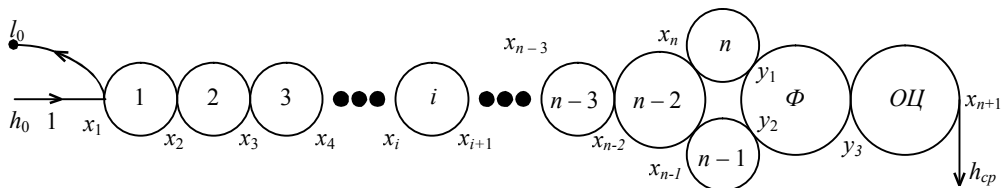


Рис. 1. Схема фарбової системи послідовної структури з двома накочувальними валиками

$$Q_{no} = Q_p + Q_e, \quad (1)$$

де  $Q_{no}$  — подача фарби на вході фарбової системи.  $Q_p$  — витрата фарби на виході фарбової системи (передача фарби на матеріал, що задруковується),  $Q_e$  — відбір фарби на вході фарбової системи.

Подачу фарби на вхід фарбової системи за одиницю часу подамо так

$$Q_{no} = bh_0, \quad (2)$$

де  $b$  — ширина потоку фарби, який відповідає максимальній довжині робочої частини друкарської форми,  $h_0$  — товщина потоку фарби, який подається на вхід фарбової системи.

Витрату фарби на виході фарбової системи визначаємо співвідношенням [1, 2]

$$Q_p = bh_{cp} = b\kappa_3 h_c, \quad (3)$$

де  $\kappa_3$  — коефіцієнт заповнення форми друкувальними елементами,  $h_c$  — товщина шару фарби на відбитку,  $h_{cp}$  — середнє значення товщини шару фарби на відбитку.

Відбір фарби на вході фарбової системи визначаємо так

$$Q_e = bl_0 = b\kappa_0 x_1, \quad (4)$$

де  $\kappa_0$  — коефіцієнт відбору фарби на вході фарбової системи,  $l_0$  — товщина зворотного потоку фарби, що повертається у корито для фарби,  $x_1$  — товщина шару фарби на першому валіку у зоні подачі фарби.

Витрата фарби на виході фарбової системи (передача фарби на матеріал, що задруковується) створює технологічне навантаження на неї. Для заданої оптичної щільності по всій поверхні відбитка навантаження визначається коефіцієнтом заповнення форми друкувальними елементами та залежить від накладу і може змінюватись у широких межах.

Після підстановки виразів (2)-(4) у співвідношення (1) рівняння балансу подачі та витрати фарби матиме вигляд

$$h_0 = h_{cp} + l_0. \quad (5)$$

Отже, в усталеному режимі роботи фарбової системи баланс подачі та витрати фарби однозначно визначається «балансом товщин».

Для аналізу в рівняння (5) включимо коефіцієнти фарбової системи

$$h_0 = \kappa_3 h_0 + \kappa_0 x_1. \quad (6)$$

Отже, баланс подачі та витрати фарби залежить від коефіцієнта відбору фарби на вході  $\kappa_0$  фарбової системи та коефіцієнта заповнення форми друкувальними елементами  $\kappa_3$  (навантаження на фарбову систему). Зауважимо, що коефіцієнт відбору фарби на вході фарбової системи залежить від типу та конструкції фарбо-живильного пристрою і його налагодження. Натомість коефіцієнт заповнення форми може змінюватись в межах ( $0 \leq \kappa_3 \leq 1$ ).

Одержане рівняння подачі та витрати фарби принципово відрізняється від існуючих [1, 2, 7] тим, що враховує відбір фарби на вході фарбової системи. Доведемо вплив коефіцієнта відбору фарби на вході на статичні властивості фарбових систем.

З урахуванням накладання та розщеплення шарів фарби в зоні контакту фарбових валиків (схеми на рис. 1) відповідно до рівняння балансу подачі та витрати фарби (6) складемо систему рівнянь для усталеного режиму роботи фарбового апарату

$$\begin{aligned}
 x_1 &= h_0 + \gamma x_2 & x_{n-2} &= \alpha x_{n-2} + \gamma x_n \\
 l_0 &= K_0 x_1 & x_{n-1} &= \alpha x_{n-2} + (1 - \alpha K_3) y_2 \\
 x_2 &= K_1 x_1 + \gamma x_3 & x_n &= \alpha x_{n-1} + (1 - \alpha K_3) y_1 \\
 x_3 &= \alpha x_2 + \gamma x_4 & y_1 &= \alpha x_n + \gamma K_3 y_3 \\
 \dots & & y_3 &= \alpha y_2 + (1 - \beta) x_{n+1} \\
 x_i &= \alpha x_{i-1} + \gamma x_{i+1} & x_{n+1} &= \alpha y_3 \\
 \dots & & h_{cp} &= \beta K_3 x_{n+1}, \\
 x_{n-3} &= \alpha x_{n-4} + \gamma x_{n-2}
 \end{aligned} \tag{7}$$

де  $h_0$  — товщина шару фарби, що подається на вхід фарбової системи;  $x_i$  — товщина шару фарби у зонах контакту фарбових валиків;  $y_i$  — товщина шару фарби у зонах контакту форми з накочувальними валиками й офсетним циліндром;  $l_0$  — товщина шару фарби, що відбирається на вході фарбової системи та повертається назад у корито з фарбою;  $\alpha, \gamma$  — коефіцієнти поділу фарби при їх виході з зон контакту;  $\kappa_1$  — коефіцієнт передачі фарби на першому фарбовому валику,  $n$  — кількість фарбових валиків у фарбовій системі.

Розв'язавши систему рівнянь (7), одержимо вирази для побудови номограм подачі та відбору фарби. Для  $n$  валиків середню товщину у загальному вигляді можна подати так

$$h_{cp} = K_3 \frac{P_{1n} \Delta_1 + P_{2n} \Delta_2}{\Delta_n} h_0, \tag{8}$$

$$l_0 = K_0 \frac{\Delta_3}{\Delta_n} h_0, \tag{9}$$

де  $P_{1n}, P_{2n}$  — передаточні функції шляхів від точки подачі до точки відбору фарби на виході,  $\Delta_n$  — визначник системи рівнянь (7),  $\Delta_1, \Delta_2$  — мінори визначника для змінних  $y_1$  та  $y_2$ ,  $\Delta_3$  — мінор визначника для змінної  $x_1$ .

Задача побудови номограм подачі та відбору фарби на основі виразів (8) і (9) вимагає обчислення визначників і розв'язування системи рівнянь (7).

### 3. Симулятор для побудови номограм подачі та відбору фарби

Для побудови номограм подачі та відбору фарби застосуємо метод комп'ютерного симулювання. Для прикладу розглянемо фарбову систему послідовної структури з двома накочувальними валиками, яка складається з шести фарбових валиків,

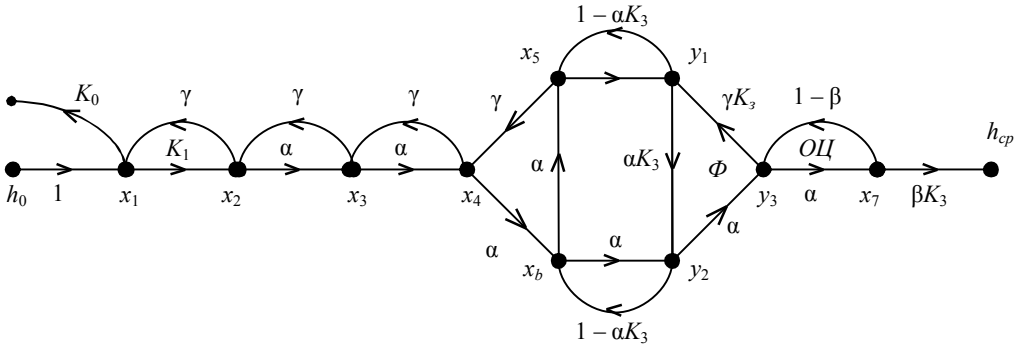


Рис. 2. Граф фарбової системи

друкарської форми й офсетного циліндра, та матеріалу, що задруковується. Для спрощення задачі побудови симулятора, подамо цю фарбову систему у вигляді сигнального графа. За використання відомих правил [5, 6] для  $n = 6$  на рис. 2 побудовано граф фарбової системи.

Граф побудовано на основі системи рівнянь (7) для  $n = 6$  та схеми фарбового апарату (рис. 1). Він наочно показує потоки фарби та їх напрям. Вершина (вузол) графа відповідає товщині шару фарби у зонах контакту фарбових валиків і форми. Дуги графа відповідають коефіцієнтам передачі фарби. Стрілки на дугах показують напрям руху потоків фарби. Вхідна вершина графа відповідає товщині шару фарби, який подається на перший валик (на вхід фарбової системи), вихідна вершина — середній товщині фарби, яка подається на матеріал, що задруковується. Інші вершини графа відповідають товщинам  $x_i$  шару фарби у відповідних зонах контакту фарбових валиків і циліндрів. Такі сигнальні графи є наочні та зручні для аналітичного аналізу і комп'ютерного симулювання.

Для побудови номограм подачі та відбору фарби використано програмний пакет MATLAB-Simulink [8]. На основі системи рівнянь (7) і графа фарбової системи з операційних блоків Simulink з допомогою графічного редактора розроблено структурну схему симулятора для побудови номограм подачі та відбору фарби з двома накочувальними валиками послідовної структури з шести валиків. Вікно симулятора подано на рис. 3.

Вершинам графа відповідають блоки суматорів, на вході яких сумуються прямі та зворотні потоки фарби, а на виході розділяються. Дугам графа відповідають блоки Gain. Щоби здійснити автоматичну побудову номограм потрібно лінійно змінювати коефіцієнт заповнення форми в межах  $0 \leq \kappa_3 \leq 1$ , що здійснюється з допомогою блока Ramp. Задання потрібної товщини шару фарби, яка подається на вхід фарбової системи, здійснюється за допомогою блока Constant. Візуалізація номограм подачі та відбору фарби здійснюється з допомогою блока Scope. Для побудови сімейства номограм фарбової системи з різними коефіцієнтами відбору фарби на виході здійснюється паралельне симулювання для чотирьох фарбових систем, що зручно для порівняльного аналізу.

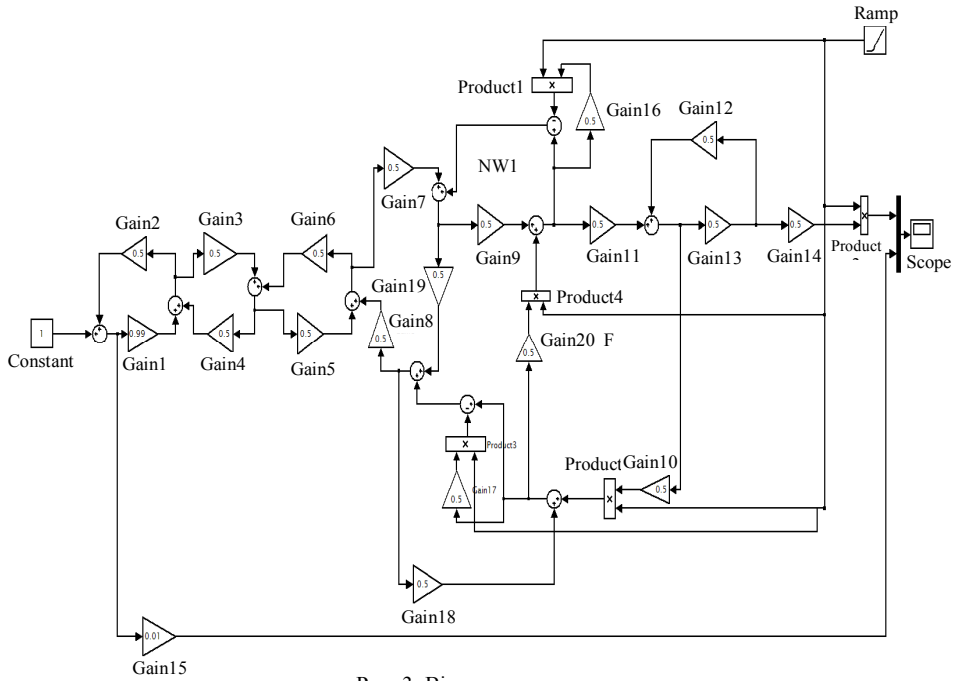


Рис. 3. Вікно симулятора

Для побудови номограм у безвимірних одиницях на вхід фарбової системи подавали сталу товщину шару фарби  $h_0 = 1$ . Під час симулювання задавали коефіцієнти  $\alpha = \gamma = \beta = 0,5$ , коефіцієнт заповнення форми лінійно змінювали в межах від 0 до 1. Результати симулювання для значень коефіцієнта відбору фарби на вході системи  $\kappa_0 = 0,01; 0,02; 0,05; 0,1$  подані у вигляді сімейства номограм подачі та відбору фарби на рис. 4.

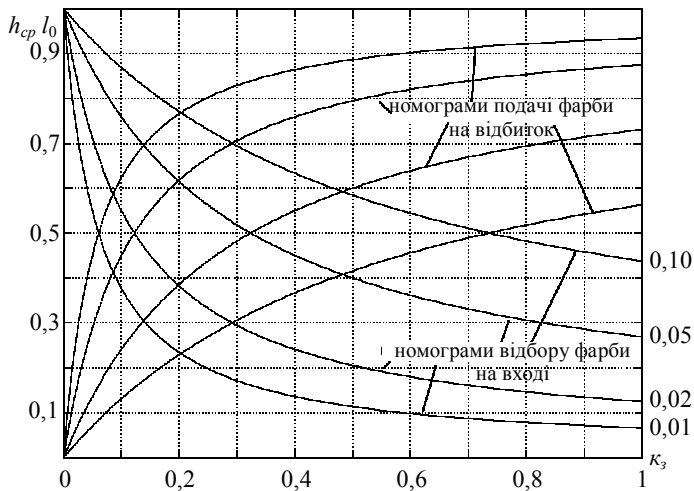


Рис. 4. Сімейство номограм подачі та відбору фарби для фарбових систем із різними коефіцієнтами відбору фарби на вході

На рис. 4 показано сімейство номограм. Вісь  $\kappa_3$  — коефіцієнт заповнення друкарської форми друкуєчими елементами. Вісь  $h_{cp}$  — товщина фарбового шару в відносних одиницях. Наростаючі криві — це номограми витрати фарби на виході фарбової системи (середнє значення фарби на матеріалі, що задруковується). Бачимо, що чим більший коефіцієнт заповнення форми — тим більша витрата фарби на виході фарбової системи. При цьому фарбова система доволі чутлива до зміни коефіцієнта відбору фарби на її вході. Незначний відбір фарби на вході значно впливає на передачу фарби на матеріал, що задруковується. Наприклад, якщо коефіцієнт відбору фарби на вході  $\kappa_0 = 0,1$ , то кількість фарби, яка подається на матеріал, що задруковується, майже удвічі зменшується. Отже, під час аналізу статичних властивостей фарбових апаратів обов'язково потрібно враховувати відбір фарби на вході фарбової системи.

Спадаючі криві — це номограми відбору фарби на вході фарбової системи. Для значень коефіцієнта відбору фарби ( $0 \leq \kappa_0 \leq 0,2$ ) фарбова система є дуже чутлива до зміни навантаження системи.

### Висновки.

1. Степінь заповнення форми друкарськими елементами значно впливає на перерозподіл фарби між входом і виходом фарбової системи, а за збільшення заповнення зростає кількість фарби, яка передається на матеріал, що задруковується.

2. Для значень коефіцієнта заповнення форми в межах ( $0,05 \leq \kappa_3 \leq 0,2$ ) фарбова система є дуже чутлива до зміни заповнення форми.

3. Найсильніший вплив на перерозподіл фарби між входом і виходом фарбової системи має коефіцієнт відбору фарби на вході фарбової системи.

4. Для малих коефіцієнтів відбору фарби на вході фарбової системи ( $\kappa_0$ ) існує сильний зв'язок між перерозподілом фарби відносно входу та виходу.

5. Під час аналізу фарбових систем обов'язково потрібно враховувати зворотний потік фарби на вході фарбової системи.

### Література

- [1] *Алексеев, Г. А.* Красочные аппараты ротационных машин высокой и плоской печати / *Г. А. Алексеев.* — Москва: Книга, 1980. — 184 с.
- [2] *Батюшко, А. Л.* Проблемы автоматизации офсетного печатного процесса / *А. Л. Батюшко* и др. — Москва: Книга, 1978. — 112 с.
- [3] *Верхола, М. І.* Основні засади та сутність розкочування фарби у фарбових системах / *М. І. Верхола, М. М. Луцків* // Комп'ютерні технології друкарства: збірник наукових праць. — Львів, 2004. — Вип. 12. — С. 14-25.
- [4] *Верхола, М. І.* Часовий і операторний методи описання процесу розкочування фарби в друкарських машинах / *М. І. Верхола, М. М. Луцків, Р. Г. Зіненко* // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. МНТЗ. — Львів: Видавництво ДУ «ЛПТ». — 1999. — № 34. — С. 53-57.
- [5] *Верхола, М. І.* Сигнальний граф процесу розкочування фарби / *М. І. Верхола, М. М. Луцків* // Вісник ДУ «Львівська політехніка». — Львів. 1998. — Т. 2. — С. 348-353.
- [6] *Верхола, М. І.* Сигнальний граф фарбових груп друкарських машин / *М. І. Верхола, М. М. Луцків* // Вісник ДУ «Львівська політехніка». Енергетичні та електромеханічні системи. — Львів, 1997. — № 340. — С. 11-16.



- [7] *Величко, О. М.* Опрацювання інформаційного потоку взаємодією елементів друкарського контакту / *О. М. Величко*. — Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. — 254 с.
- [8] *Гультияев, А. К.* MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде WINDOWS: практическое пособие / *А. К. Гультияев*. — Санкт-Петербург: Корона принт., 1999. — 282 с.
- [9] *Зирзак, Л. Ф.* Листовые офсетные печатные машины / *Л. Ф. Зирзак* и др. — Москва: Издательство МГУП, 1998. — 136 с.
- [10] *Казакевич, В. В.* Системы автоматического управления полиграфическими процессами / *В. В. Казакевич, Э. И. Избицкий*. — Москва: Книга, 1978. — 342 с.
- [11] *Митрофанов, В. П.* Печатное оборудование / *В. П. Митрофанов*. — Москва: Издательство МГУП, 1999. — 443 с.
- [12] *Чехман, Я. І.* Друкарське устаткування / *Я. І. Чехман*. — Львів: УАД, 2005. — 486 с.
- [13] *Сіупальскі, S.* Maszyny offsetowe zwojowe / *S. Сіупальскі*. — Warszawa: OW Politechniki Warszawskiej, 2000. — 274 s.

## **Calculation and building of nomograms of inlet and outlet ink in a unit with two rolling rollers**

Vasyl Rybak

*The problem of calculation and construction nomograms of inlet and outlet ink flow in inking units under variable loads is considered. A graph of continuously-parallel inking unit is constructed. Mathematical model of ink rolling process is created from construction of the graph. The example of computer simulation is shown and a set of nomograms for different coefficients of inlet ink flow are built. The conclusions about significant impact of the factor of form filling on the ink flow in an inking unit are drawn.*

## **Расчет и построение номограмм подачи и отбора краски в системе с двумя накатываемыми валиками**

Василь Рыбак

*Рассматривается задача расчета и построения номограмм подачи и отбора краски в красочных системах при переменной нагрузке. Построен граф красочной системы последовательно-параллельной структуры. По строению графа составлена математическая модель процесса раската краски. Приведен пример компьютерного моделирования и построено семейство номограмм для различных коэффициентов отбора краски на входе. Сделаны выводы о значительном влиянии коэффициента заполнения формы на передачу краски в красочной системе.*

**Представлено професором Є. Чаплею**

Отримано 21.05.08